

**DESAIN DAN FABRIKASI SENSOR KONSENTRASI GULA PADA TEBU
BERBASIS KRISTAL FOTONIK; DARI TEORI HINGGA PRODUK**
(Design and Fabrication of Photonic Crystal Based Sensor for Sugar
Concentration in Sugarcane; from Theory to Product)

Husin Alatas, Irmansyah, Mamat Rahmat

Dep. Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam IPB

ABSTRAK

Sudah menjadi rahasia umum betapa sulitnya melakukan riset berorientasi produk yang hampir seluruhnya dilakukan di Indonesia. Hal ini disebabkan antara lain oleh keterbatasan infrastruktur dan pendanaan yang memadai, serta relatif buruknya networking di antara perguruan tinggi, lembaga penelitian dan industri. Di pihak lain, riset di bidang teori dan pemodelan masih dapat dikatakan relatif lebih "mudah" dilakukan, semenjak semakin banyaknya akses lewat internet untuk memperoleh artikel ilmiah. Pada tulisan ini dipaparkan perjalanan riset dari teori hingga realisasi produk berupa sensor konsentrasi gula berbasis kristal fotonik, melalui kerjasama dengan perusahaan di Indonesia yang juga memiliki sayap usaha di bidang industri manufaktur optik. Prototipe awal telah berhasil didesain dan difabrikasi, serta telah menunjukkan kesesuaiannya dengan teori.

Kata Kunci : Kristal fotonik, sensor optik.

ABSTRACT

It is not a secret that to perform product-oriented research entirely conducted in Indonesia is very difficult. This is likely caused by lack of infrastructure and adequate funding, and relatively poor network among the universities, research institutions and industries. On the other hand, researches in the field of theory and modeling are relatively more "easily" to be done, since there are number of access via the internet to obtain scientific articles. In this paper we present the experience of conducting research from theory to product realization of a sugar concentration sensor based on photonic crystals, through cooperation with companies in Indonesia that also have business in optical manufacturing industry. Initial prototype has been successfully designed and fabricated, and also has shown its agreement with the theory.

Keywords : Photonic crystal, optical sensor.

PENDAHULUAN

Indonesia, sebuah negeri yang terletak di lingkaran khatulistiwa memang sangat patut bersyukur kepadaNya. Bagaimana tidak, selain sumber daya mineral, keindahan alam serta budaya yang beragam, tanahnya yang subur di berbagai tempat telah memberikan kemudahan kepada penduduknya untuk menanam hampir segala macam tumbuhan tropis. Sinar matahari yang tersedia sepanjang tahun juga memberikan ketersediaan energi dalam bentuk ikatan-ikatan kimia

yang tersimpan di berbagai macam produk nabati. Selain dapat untuk menghidupi rakyatnya melalui pemanfaatan langsung, produk-produk tersebut juga memiliki potensi untuk dijual ke negara lain guna menambah devisa negara.

Dalam upaya memaksimalkan pemanfaatan potensi-potensi di atas, proses pengelolaan suatu jenis hasil pertanian menjadi produk nabati misalnya, merupakan sebuah tahapan penting yang membutuhkan keterampilan memadai. Oleh sebab itu, penguasaan sains dan teknologi di berbagai tingkatan perlu menjadi pertimbangan serius, agar pada gilirannya dapat diperoleh hasil yang maksimal. Di sisi lain, ketertinggalan dan kurang meratanya pembangunan sektor pendidikan di Indonesia, serta lemahnya koordinasi pemerintah dalam memajukan bidang riset dan pengembangan, telah mengakibatkan lambatnya penguasaan sains dan teknologi yang dibutuhkan. Seperti yang terlihat sekarang ini, akibat dari ketertinggalan dalam penguasaan tersebut, sedikit banyak telah berkontribusi dalam membuat kondisi Indonesia berada pada situasi yang kurang menguntungkan, mengingat banyaknya potensi yang terabaikan atau dikuasai pengelolaannya oleh pihak asing.

Dalam tulisan ini akan dipaparkan sebuah usaha riset berorientasi produk yang dimulai dari teori hingga kepada realisasi yang seluruhnya dilakukan dengan memanfaatkan sumber daya manusia dan peralatan yang tersedia di Indonesia.

METODE PENELITIAN

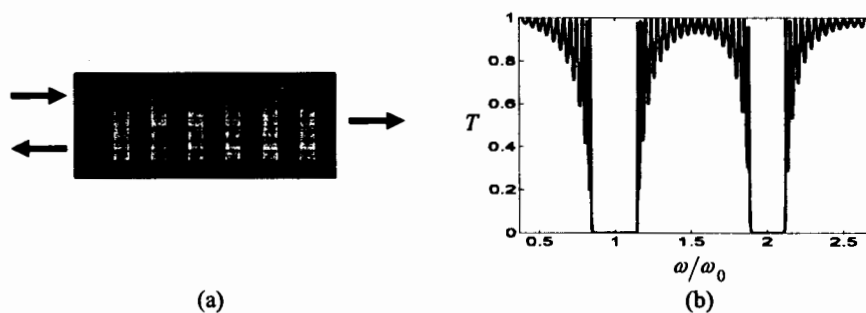
Penelitian ini secara garis besar dilakukan terdiri atas dua tahapan besar yaitu pertama tahapan pemodelan berdasarkan teori tentang perambatan gelombang elektromagnetik (EM) di dalam bahan material dielektrik dan kedua tahapan realisasi yang melibatkan kegiatan desain, eksperimen dan uji coba terhadap produk yang dihasilkan. Perlu ditekankan bahwa dari kedua tahapan tersebut, tahapan realisasi produk berteknologi tinggi merupakan yang paling sulit dilakukan di Indonesia, mengingat keterbatasan infrastruktur penelitian.

Teori dan Pemodelan

Sudah menjadi pengalaman sehari-hari, jika kita melihat pada suatu kaca tembus pandang maka ada sebagian sinar yang diteruskan dan dipantulkan,

sehingga obyek yang ada dibalik kaca dapat terlihat, demikian pula bayangan obyek yang berada di depannya. Untuk jenis kaca yang berbeda, sudah barang tentu memiliki kemampuan meneruskan dan memantulkan yang berbeda. Di dalam ranah Fisika, material yang transparan terhadap gelombang Elektromagnetik (EM), seperti kaca yang transparan terhadap cahaya tampak, dikenal dengan nama material dielektrik. Kemampuan sebuah material dielektrik meneruskan atau memantulkan gelombang EM dicirikan oleh nisbah antara cepat rambatnya di vakum dengan di dalam material tersebut yang dikenal sebagai indeks bias dan dilambangkan dengan n .

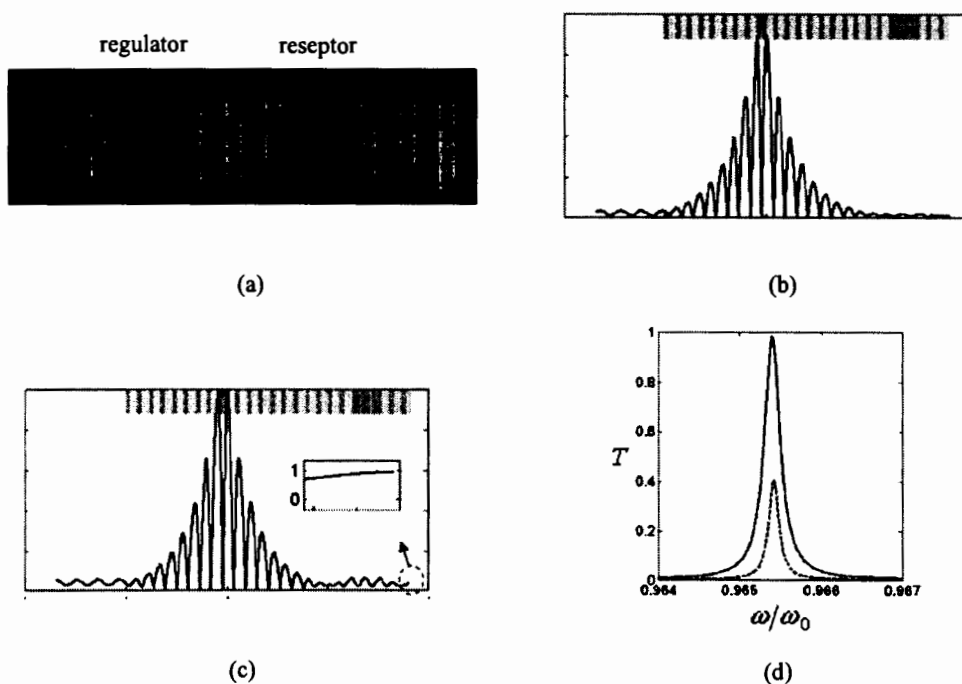
Sekarang bayangkan terdapat dua atau lebih material dielektrik yang memiliki indeks bias berbeda disusun berlapis secara selang-seling dan berulang sedemikian rupa dalam jumlah tertentu, seperti yang diilustrasikan oleh Gambar 1a. Struktur tersebut dinamakan sebagai Kristal Fotonik (*Photonic Crystal*). Dapat diduga bahwa gelombang EM yang melewatinya akan dipantulkan dan diteruskan secara berulang-ulang pula disetiap perbatasan antara dua material yang berbeda. Respon yang diberikan oleh struktur tersebut akan berbeda untuk setiap jenis gelombang EM yang diwakili oleh frekuensi getaran yang berbeda pula. Menariknya, jika dilakukan penyisiran untuk berbagai macam nilai frekuensi getaran, maka akan terdapat suatu selang frekuensi yang hampir seluruh gelombang EM akan mengalami pemantulan maksimal. Selang dimana pemantulan maksimal tersebut terjadi dinamakan *Photonic Band Gap* (PBG) dan contohnya diberikan oleh Gambar 1b. Dalam sistem komunikasi optik, keberadaan PBG dapat dimanfaatkan sebagai filter optik yang berfungsi menyaring gelombang EM dengan frekuensi tertentu supaya tidak diteruskan.



Gambar 1. (a) Kristal Fotonik dengan dua material dielektrik berbeda
 (b) Kurva transmitansi dan PBG terkait dengan ω_0 adalah frekuensi sumber gelombang EM

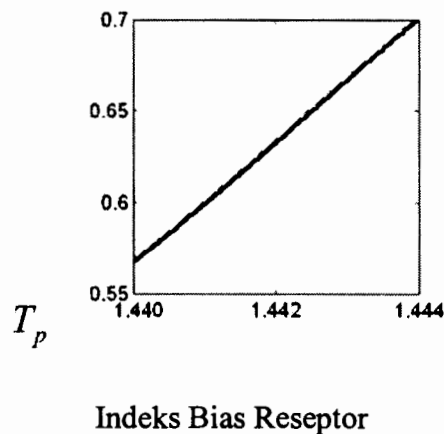
Gejala menarik lainnya yang muncul adalah jika satu atau lebih lapisan defek dengan tebal dan/atau indeks bias yang berbeda disisipkan di dalam Kristal Fotonik. Seperti diilustrasikan pada Gambar 2a, Kristal Fotonik dengan dua buah lapisan defek berbeda ketebalan dari lapisan lain, yang masing-masing dinamakan lapisan regulator dan reseptor. Lapisan defek tersebut dapat berfungsi sebagai “rongga” getar atau resonator untuk rentang frekuensi tertentu di dalam PBG. Sebagai akibat terjadinya resonansi tersebut, intensitas gelombang EM di daerah tersebut menjadi meningkat drastis (Gambar 2b dan 2c) dan memungkinkan terjadinya kebocoran di bagian keluarannya. Sehingga, pada bagian tersebut terdeteksi adanya gelombang dan memunculkan selang frekuensi di dalam PBG yang dinamakan *Photonic Pass Band* (PPB) seperti diberikan oleh Gambar 2d. [1]

Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2d, terlihat bahwa puncak PPB memiliki ketergantungan terhadap indeks bias reseptor. Perubahan indeks bias pada lapisan tersebut dapat mengakibatkan puncak PPB turun atau naik. Jelas, konfigurasi dengan karakteristik seperti ini dapat dimanfaatkan dalam piranti sensor yang mengukur perubahan indeks bias suatu material. Lapisan regulator pada Gambar 2a, berfungsi untuk mengatur posisi PPB di dalam PBG.



Gambar 2. (a) Kristal Fotonik dengan dua defek regulator dan reseptor (b) Keadaan resonansi untuk indeks bias reseptor 1,2 (c) 1,45 (d) PPB dengan kurva garis padat dan putus-putus untuk masing-masing indeks bias reseptor berturut-turut.

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, diperkirakan konfigurasi Kristal Fotonik dengan dua lapisan defek ini dapat memiliki respon perubahan yang cukup linier dengan sensitivitas yang baik, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3. Ditunjukkan bahwa untuk rentang indeks bias reseptor dari 1,440 hingga 1,444, dengan orde selisih 0,004, ternyata transmitansi puncak (T_p) mengalami perubahan sekitar lebih dari 12,5% dan hubungan antara kedua perubahan tersebut linier.



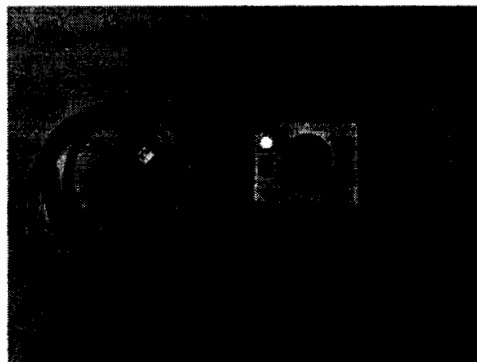
Gambar 3. Respon perubahan transmitansi puncak terhadap perubahan indeks bias reseptor.

Realisasi

Salah satu kendala dalam realisasi struktur Kristal Fotonik tersebut adalah masalah peralatan untuk fabrikasi. Sudah menjadi rahasia umum bahwa infrastruktur riset yang ada di Indonesia sangatlah terbatas, apalagi ketersediaan peralatan dengan tingkat kecanggihan yang berbanding lurus dengan harga. Untuk fabrikasi Kristal Fotonik tersebut, dibutuhkan peralatan pelapis seperti misalnya *Electron Beam Evaporation* (EBE), *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD) atau metode lainnya. Di perguruan tinggi, peralatan yang dimaksud masih sangatlah terbatas, baik dari segi jumlah, kapasitas serta kualitasnya. Peralatan dengan metode PECVD misalnya, yang ada di Kelompok Keahlian Fisika Material Elektronik, Fakultas Matematika & Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, tampaknya tidak mampu untuk dapat membuat lapisan film tipis yang relatif banyak jumlah lapisannya.

Jika melihat kondisi tersebut di atas, tampaknya tertutup sudah kemungkinan untuk melakukan fabrikasinya di dalam negeri. Tetapi, melalui proses panjang yang pada dasarnya serba kebetulan dan melibatkan berbagai pihak, diperoleh informasi mengenai adanya sebuah industri manufaktur di Indonesia, yang dari sekian jenis bidang usaha yang dimiliki, terdapat pula sayap usaha di bidang manufaktur optik. Perusahaan ini ternyata memiliki peralatan pelapisan yang dibutuhkan, dan selama ini mereka hanya memakainya untuk memproduksi pesanan pelapisan lensa kamera dengan jumlah lapisan yang relatif sedikit. Sementara kemampuan produksi alat tersebut jauh melebihi pemanfaatannya selama ini.

Melalui kerja sama dengan perusahaan tersebut dan berujung pada berhasil direalisasikannya piranti sensor Kristal Fotonik dengan dua defek dalam bentuk semi-jadi. Konfigurasi piranti sensor diberikan pada Gambar 4.



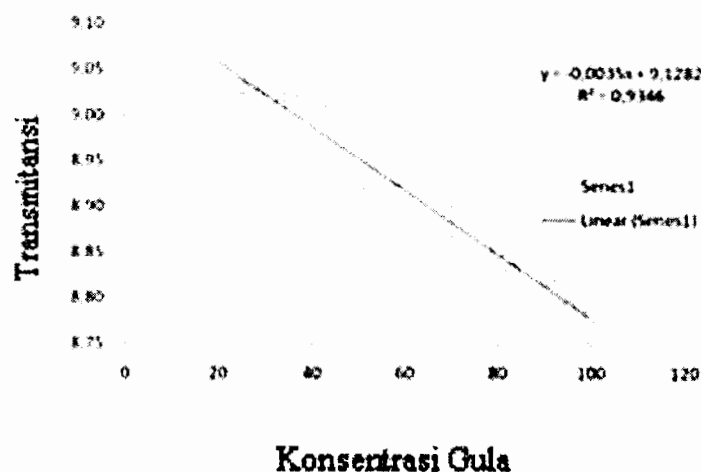
Gambar 4. Foto Piranti

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran terhadap konsentrasi larutan gula dengan konsentrasi yang bervariasi dari 20 – 100 gr/L diberikan oleh Gambar 5. Terlihat dengan jelas bahwa kebergantungan linier respon piranti terhadap konsentrasi gula, dengan koefisien determinasi lebih besar dari 90%, menunjukkan potensinya sebagai sensor.

Sebagaimana telah disinggung di atas, piranti ini adalah dapat difungsikan untuk mengukur perubahan indeks bias sebarang larutan dengan material terlarut

yang berbeda konsentrasi jika diketahui indeks bias referensi untuk konsentrasi tertentu. Secara prinsip, melalui referensi tersebut praktis dapat pula diketahui konsentrasi material terlarut yang diukur. Contoh larutan yang dapat diukur konsentrasinya melalui cara ini adalah larutan gula atau garam. Di sisi lain, tebu merupakan salah satu tanaman yang memiliki nilai komersial tinggi karena kandungan karbohidratnya dapat diolah menjadi gula. Pengolahan tebu menjadi gula membutuhkan serangkaian proses yang diantaranya melibatkan tahapan hasil dalam bentuk cairan tebu. Pada proses ini, kendali mutu melalui pemantauan konsentrasi kandungan karbohidrat menjadi hal yang penting. Selama ini, cara konvensional untuk mengetahui kandungan cairan tebu, terutama komponen yang nantinya menjadi gula dapat dilakukan melalui cara kimiawi yang melibatkan *reagent* khusus, sehingga memakan waktu relatif lama dan menelan biaya yang cukup besar.



Gambar 5. Hasil pengukuran

Berdasarkan dua fakta di atas, maka dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan sensor indeks bias berbasis Kristal Fotonik ini bisa menjadi sebuah pilihan yang tepat guna melakukan kendali mutu cairan tebu, dimana keunggulan sistem ini adalah tidak dibutuhkannya *reagent* serta dapat dilakukan pemantauan secara waktu-nyata (*real-time*) dan terus menerus.

KESIMPULAN

Dalam persaingan global yang semakin ketat dewasa ini, kemandirian bangsa melalui penguasaan bidang sains dan teknologi pada hakikatnya merupakan sebuah keniscayaan yang tidak dapat dihindari. Perguruan tinggi sebagai institusi yang memiliki peranan penting dalam menghasilkan inovasi-inovasi baru dalam bidang tersebut, selain dari sumber daya manusia yang kualitas, memerlukan sokongan dari semua pihak, terutama pemerintah sebagai fasilitator dan regulator. Ke depan, riset yang berorientasi produk, mulai dari simulasi hingga realisasi, idealnya harus dapat dilakukan di dalam negeri dan hal itu, setidaknya telah dibuktikan melalui tulisan ini, dapat diwujudkan jika terdapat kesadaran yang tinggi di antara pihak-pihak yang terlibat.

Sebuah pelajaran penting dapat diambil bahwa mungkin saja terdapat banyak potensi yang dimiliki oleh kalangan industri di Indonesia yang dapat dimanfaatkan oleh para peneliti di perguruan tinggi atau lembaga penelitian secara lebih optimal. Melebihi apa yang secara terbatas dilakukan mereka selama ini, yang pada gilirannya memunculkan hubungan mutual yang saling menguntungkan. Kerjasama antara perguruan tinggi dan industri, sebagai pihak yang secara nyata memerlukan inovasi baru guna meningkatkan proses dan kualitas produksi, perlu lebih difasilitasi melalui penerapan regulasi pemerintah yang membuat kedua pihak dapat saling berkomunikasi dengan baik. Pengalaman pada penelitian ini pun menunjukkan bahwa sebenarnya ada yang dapat dilakukan perguruan tinggi untuk menghasilkan inovasi baru melalui pemanfaatan aset milik industri.

Kerjasama yang terjadi secara kebetulan sebagaimana yang dipaparkan dalam tulisan ini seyogyanya dapat dibuat terstruktur dan sistematis jika dilembagakan melalui, misalnya, koordinasi antara departemen pendidikan nasional dengan departemen perindustrian dan perdagangan serta pihak-pihak terkait lainnya yang memiliki kewenangan. Pemberian insentif tertentu bagi pelaku industri yang melakukan kerjasama riset dengan perguruan tinggi mungkin bisa dipertimbangkan secara lebih mendalam untuk memberikan stimulus agar terbentuk iklim yang kondusif untuk pengejawantahannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Hibah Penelitian Unggulan Strategis IPB dengan no. Kontrak 469/SP2H/PP/DP2M/VI/2009.

DAFTAR PUSTAKA

- H. Alatas, H. Mayditia, H. Hardhienata, A. A. Iskandar, M. O. Tjia (2006), *Single-Frequency Refractive Index Sensor Based on a Finite One Dimensional Photonic Crystal with Two Defects*, Jpn. J. Appl. Phys. 45, 8B, 6754.
- M. Rahmat, T. P. Negara, H. Hardhienata, Irmansyah, H. Alatas, *Real-Time Optical Sensor Based on One Dimensional Photonic Crystals with Defects*, Proc. Int. Conf. Information, Communication, Instrumentation and Biomedical Engineering, Bandung 22-23 November, 2009.